

# 中国東北部調査報告 中国・長白山天池における地すべり津波の数値シミュレーション

著者	澤 英明
雑誌名	地域構想学研究教育報告
号	8
ページ	75-78
発行年	2017-12-28
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1204/00023947/">http://id.nii.ac.jp/1204/00023947/</a>

## 〈中国東北部調査報告〉

## 中国・長白山天池における地すべり津波の数値シミュレーション

柳 澤 英 明

東北学院大学教養学部地域構想学科

## 1. はじめに

長白山（朝鮮名：白頭山、標高2744m）は中国と北朝鮮の国境に位置する火山で、山頂には「天池」と呼ばれるカルデラ湖を有しており、美しい景観と自然環境を形成している。また長白山および天池は文化面においても重要かつ信仰の厚い場所となっており、中国周辺国や朝鮮半島から多くの観光客が訪れる一大観光スポットの一つとなっている。

一方、長白山はこれまで噴火を繰り返してきた活火山であり、15世紀以降、4度（1413年、1597年、1668年、1702年）の噴火が観測されている。最近まで火山活動は静穏であったとされていたが、2002年頃からは地震活動が活発化し、火山活動が活動期に入りつつある可能性も示唆され警戒態勢の強化が必要となっている（小澤・谷口、2007）。

また、宮城（2017）によれば、長白山山頂周辺には複数の地すべり跡が確認されており、地すべり災害の発生も危惧されている。地すべりは、火山活動などによる地震によっても誘発される可能性もあり、火山活動の活発化に伴ってそのリスクは増大しているといえる。また、半径約4 kmの天池に地すべりが突入した場合、巨大津波を発生させる可能性もあり、甚大な被害を及ぼす広域災害に発展する危険性も有している。

しかしながら、長白山における火山災害や地すべり、土石流などに関する情報は乏しく、ハザードマップのような具体的な災害情報の公開はされていない。広域災害に対して現地住民や観光客が適切かつ迅速に避難するためには、避難計画のもととなるハザードの想定が不可欠となる。そこで本研究では、著者らが開発してきた地すべり・津波統合モデルを利用して、長白山天池周辺で地

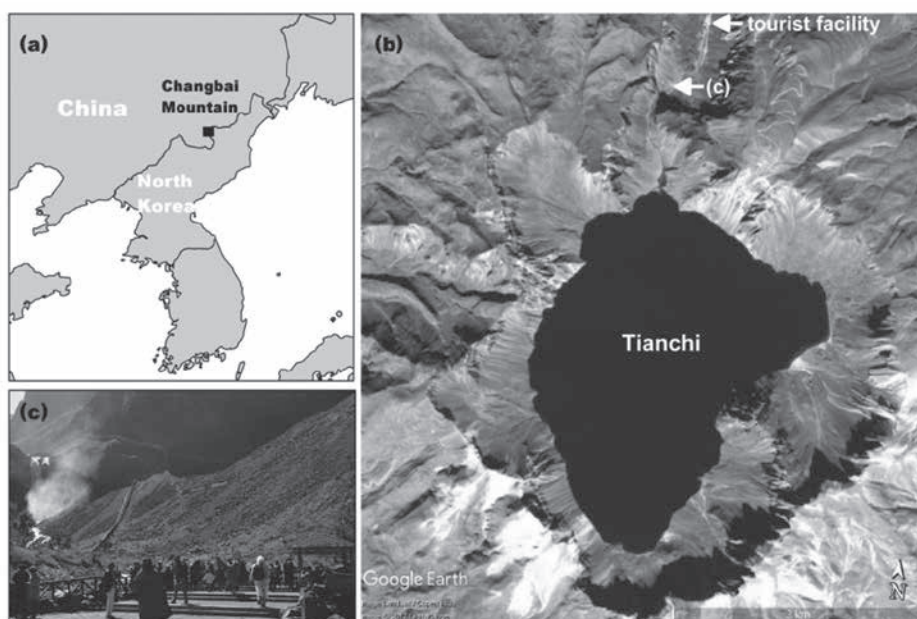


図1 調査地 (a)長白山（朝鮮名：白頭山）の場所 (b)天池の衛星写真（Google Earth）  
(c)天池を水源とする川の滝付近の展望台

すべり津波が発生した場合のシミュレーションを実施し、観光施設などに対する影響を評価する。

## 2. 対象地域概要

本研究が対象とする長白山・天地の場所を図1に示す。約9.5km<sup>2</sup>の面積を有しており、最大水深は375mとなっている。天池の水は北方向の中国側から流出しており、1.2km下流には大きな滝が存在している。滝周辺には展望台があり、滝の流れを見るために観光客が集まっている（図1c）。さらに滝より1.3km下流ではお土産店や温泉などの観光施設があり多くの人々が集っている。

## 3. 地すべり・津波統合モデルについて

図2に地すべり・津波統合モデルの概要図を示す（柳澤ら，2014）。本モデルは浅水理論に基づく二層流モデルであり、下層は土塊、上層は水塊でモデル化されている。また下層には、地すべりや土石流の数値モデルで利用されているクーロン式の土圧係数および、クーロン式によるせん断強さと摩擦則が適用されている。以下に支配方程式を示す。

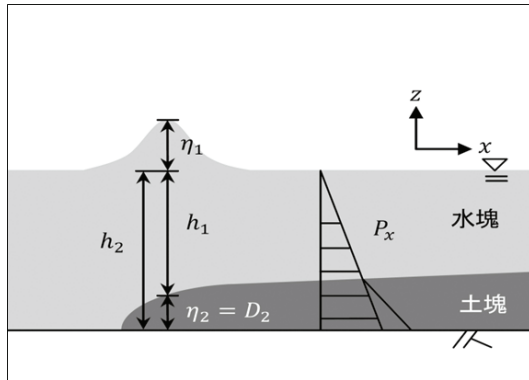


図2 地すべり・津波統合モデルの概念図  
(柳澤ら, 2014)

### ・水塊層

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\eta_1 - \eta_2) + \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial N_1}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial M_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_1^2}{D_1}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{M_1 N_1}{D_1}\right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial x} + \frac{\tau_{x1}}{\rho_w} \\ &+ INTF_x = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_1 N_1}{D_1}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N_1^2}{D_1}\right) + g D_1 \frac{\partial \eta_1}{\partial y} + \frac{\tau_{y1}}{\rho_w} \\ + INTF_y = 0 \end{aligned}$$

### ・土塊層

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta_2}{\partial t} + \frac{\partial M_2}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial M_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_2^2}{D_2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{M_2 N_2}{D_2}\right) \\ &+ g D_2 \left( \alpha \frac{\partial D_1}{\partial x} + K_0 \frac{\partial D_2}{\partial x} - \frac{\partial h_2}{\partial x} \right) \\ &+ \frac{\tau_{x2}}{\rho_t} - \alpha INTF_x = 0 \\ \frac{\partial N_2}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M_2 N_2}{D_2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N_2^2}{D_2}\right) \\ &+ g D_2 \left( \alpha \frac{\partial D_1}{\partial y} + K_0 \frac{\partial D_2}{\partial y} - \frac{\partial h_2}{\partial y} \right) \\ &+ \frac{\tau_{y2}}{\rho_t} - \alpha INTF_y = 0 \end{aligned}$$

ここで、添え字 1, 2 はそれぞれ上層と下層のパラメータを示し、 $\eta$ ：水位（土砂厚）変動、 $M, N$ ： $x, y$ 方向の線流量、 $D$ ：全水深、 $\alpha$ ：密度比（ $= \rho_w / \rho_t$ ）、 $\tau / \rho$ ：底面せん断力、 $INTF$ ：界面抵抗力である。界面抵抗力は、以下の式を利用した。

$$\begin{aligned} INTF_x &= f_{inter} \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \\ INTF_y &= f_{inter} \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \end{aligned}$$

ここで、 $\bar{u}, \bar{v}$  はそれぞれ  $x, y$  方向の相対速度である。

底面せん断力については、水塊層には Manning 則を適用し、土塊層にはクーロン式（ $\tau = c + \sigma \tan \Phi$ ）によるせん断強さを考慮した以下の式を利用する。

$$\begin{aligned} \frac{\tau_{x2}}{\rho_t} &= \frac{M}{\sqrt{M^2 + N^2}} g \left( \frac{c}{\rho_t g} + D_2 \tan \Phi \right) \\ \frac{\tau_{y2}}{\rho_t} &= \frac{N}{\sqrt{M^2 + N^2}} g \left( \frac{c}{\rho_t g} + D_2 \tan \Phi \right) \end{aligned}$$

ここで、 $c$ ：粘着力、 $\sigma$ ：鉛直応力、 $\Phi$ ：内部摩擦角を表す。ただし本検討では地すべりの発生

過程は無視して運動課程のみを検討することとし、せん断強度については以下の状態を仮定した。

$$\tan\phi = \tan\phi_{ss}, c = 0$$

$$\tan\phi_{ss} = \tau_{ss}/\rho g D_2$$

ここで、 $\tau_{ss}$ ：定常状態におけるせん断強度（一定値）である。

#### 4. 長白山の地形データと天池の湖底地形の作成

本研究では長白山の地形データとして、陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）による全球高精度デジタル3D地図（5mメッシュ）を利用し、10mメッシュにリサンプルしてシミュレーションに用いた。一方、中国と北朝鮮の国境に位置する天池の湖底地形データについては、取得が大変困難であることから、本研究では暫定的な方法として、周辺地形の勾配と最大水深375mを参考にすり鉢状の地形を作成した。作成した地形・湖底データを図3に示す。本研究ではこの地形を利用して地すべり・津波シミュレーションを実施する。

#### 5. 想定地すべりの検討

宮城（2017）によって指摘されている天池の南東側にある地形の亀裂を参考に円弧すべりを仮定し、2つのシナリオを検討する。一つ目は、頂上から水面まで崩壊すると仮定するシナリオ1、二つ目は頂上から湖底面まで崩壊すると仮定する最大想定としてのシナリオ2である。図4に各シナリオの概念図を示す。これらのシナリオに基づき、楕円体形状で地形の剥ぎ取りを行った（図5）。シナリオ1における剥ぎ取り体積は0.057km<sup>3</sup>、シナリオ2では0.17km<sup>3</sup>となった。地すべりのパラメータについては、ICLによる地すべり発生運動統合シミュレーションLS-RAPIDを参考に標準値を設定した。

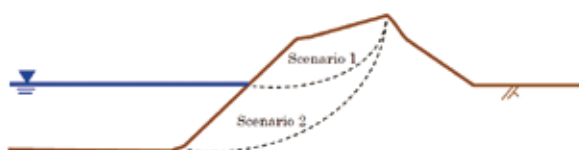


図4 シナリオ1・2における想定すべり面の概念図

## 6. シミュレーション結果

図6・7に地すべり津波統合シミュレーションの結果を示す。図は津波による浸水深を示している。シナリオ1・2ともに、巨大津波が観光施設まで襲来していることが確認できる。滝付近における展望台には、シナリオ1で浸水深17m、シナリオ2で30mの津波が襲来する。また、多くの人が集まる観光施設でも、シナリオ1で浸水深10m、シナリオ2で29mの津波が襲来する結果となった。この結果より、もし天池で地すべり起因の津波が発生した場合、下流の観光施設などに壊滅的な被害が生じることが明らかとなった。

## 7. まとめ

長白山における地すべり津波に関する検討はこれまでされてこなかったが、本研究によってそのリスクが明確となった。今後はハザード評価をもとに巨大災害に対する避難想定などの防災対策を検討していく必要がある。

### 謝 辞

本調査では中華人民共和国東北師範大学呉成功教授、同大学王教授、宋先生、大学院生楊岳氏にご支援いただきました。皆さまに心から感謝申し上げます。なお、本研究は平成29年度学校法人東北学院共同研究「課題名：大規模災害による環境破壊可能性の予測と回避に関する国際共同研究」の助成を受けました。

### <参考文献>

- 小澤拓，谷口宏充（2007）：合成開口レーダ干渉法による白頭山の火山活動に伴う地殻変動の検出，防災科学技術研究所研究報告，第71号，10p.
- 宮城豊彦（2017）：中国・北朝鮮国境，長白山火口（天池）における大規模地すべり災害リスクの予察的調査，地域構想学研究報告（投稿中）
- 柳澤英明，青木歩，佐々恭二，井上公夫（2014）：地滑り・津波統合モデルによる寛政4年（1792）有明海津波の再現シミュレーション，土木学会論文集B2（海岸工学），70(2)，pp.151-155.



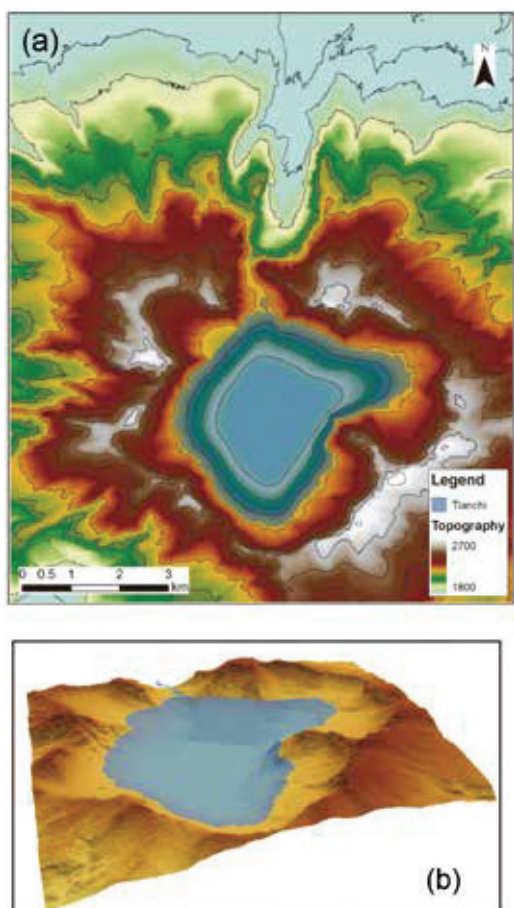


図3 (a)天池周辺の地形データ（等高線：100m間隔）  
(b)天池の鳥瞰図

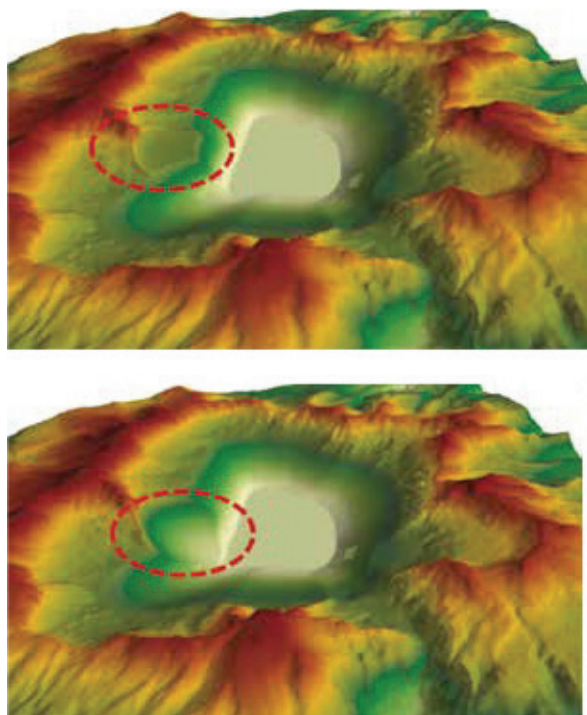


図5 (上)シナリオ1におけるすべり面  
(下)シナリオ2におけるすべり面

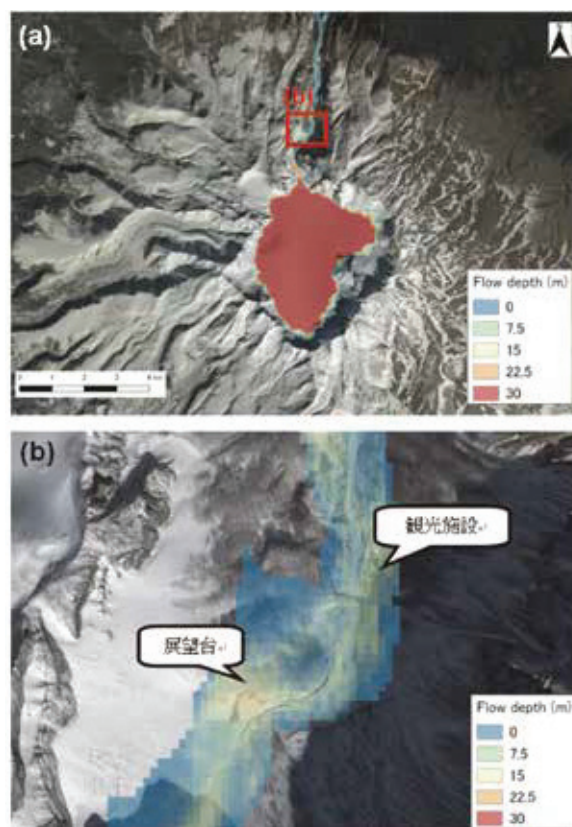


図6 シナリオ1による津波浸水深  
(a)全体図 (b)拡大図

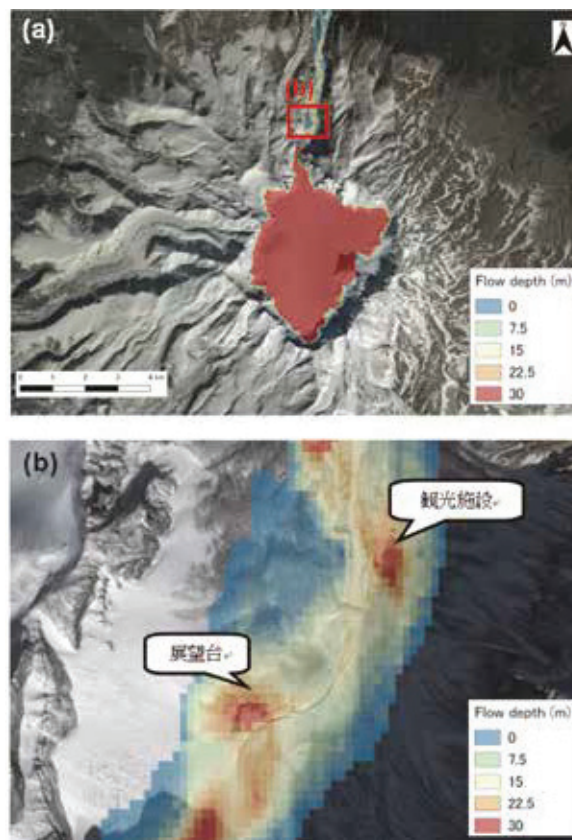


図7 シナリオ2による津波浸水深  
(a)全体図 (b)拡大図